



2877

12/20/01

PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of : Mitsuo TAKEDA, Teruaki YOGO, Hideyuki
Serial no. : TANAKA and Ruowei GU
Filed : 09/995,128
For : November 27, 2001
For : THREE-DIMENSIONAL SHAPE MEASURING
METHOD
Group Art Unit : 2877
Docket : ADACHI P215US

The Commissioner of Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

*3/ Priority
Papers
G. Stanley
2-15-02*

SUBMISSION OF CERTIFIED COPY

Dear Sir:

A claim for priority is hereby made under the provisions of 35 U.S.C. § 119 for the above-identified United States Patent Application based upon Japanese Patent Application No. 2001-122723 filed April 20, 2001. A certified copy of said Japanese application is enclosed herewith.

In the event that there are any fee deficiencies or additional fees are payable, please charge the same or credit any overpayment to our Deposit Account (Account No. 04-0213).

Respectfully submitted,

Michael J. Bujold
Michael J. Bujold, Reg. No. 32,018
Customer No. 020210
Davis & Bujold, P.L.L.C.
Fourth Floor
500 North Commercial Street
Manchester NH 03101-1151
Telephone 603-624-9220
Facsimile 603-624-9229
E-mail: patent@davisandbujold.com

RECEIVED
FEB-5 2002
10 2803

CERTIFICATE OF MAILING

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service, with sufficient postage, as First Class Mail in an envelope addressed to: Commissioner of Patents and Trademarks, Washington, D.C. 20231 on December 20, 2001.

By: *Michael J. Bujold*
Print Name: Michael J. Bujold



日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE -5 2002

TO 2000 MAIL ROOM

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 4月20日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-122723

出 願 人

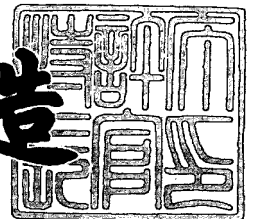
Applicant(s):

與語 照明

2001年11月30日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3105907

【書類名】 特許願

【整理番号】 PI8670PT

【提出日】 平成13年 4月20日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01B 11/24

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県瀬戸市穴田町970番地の2 株式会社オプトン
内

【氏名】 武田 光夫

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県瀬戸市穴田町970番地の2 株式会社オプトン
内

【氏名】 與語 照明

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県瀬戸市穴田町970番地の2 株式会社オプトン
内

【氏名】 田中 秀行

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県瀬戸市穴田町970番地の2 株式会社オプトン
内

【氏名】 顧 若偉

【特許出願人】

【識別番号】 394017929

【氏名又は名称】 與語 照明

【代理人】

【識別番号】 100082500

【弁理士】

【氏名又は名称】 足立 勉

【電話番号】 052-231-7835

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 007102

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9405357

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 3次元形状測定方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 3次元形状の被測定物に格子パターンを投影し、この格子像から前記被測定物の3次元形状の測定値を得る3次元形状測定方法において、
周期と向きとが互いに異なる複数の1次元格子毎に色を変えて前記被測定物に前記格子パターンを同時に投影し、前記被測定物の3次元形状に応じて変形した格子像を撮像し、該格子像から前記各色毎の前記1次元格子成分に分離し、前記各1次元格子成分毎に位相を検出して、該各位相に基づいて前記測定値を得ることを特徴とする3次元形状測定方法。

【請求項2】 前記1次元格子の色が、赤、緑、青であることを特徴とする請求項1記載の3次元形状測定方法。

【請求項3】 前記格子パターンを投影する光源の投影レンズと前記格子パターンを撮像するイメージセンサの結像レンズとの中心を結ぶ直線が、前記被測定物を置いた参照平面と平行であることを特徴とする請求項1又は請求項2記載の3次元形状測定方法。

【請求項4】 更に、白色光により前記被測定物を撮像して、前記被測定物の色情報をも計測することを特徴とする請求項1ないし請求項3記載の3次元形状測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、3次元形状の被測定物に格子パターンを投影し、この投影像から被測定物の形状を測定する3次元形状測定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より、被測定物に格子状のパターンを投影し、被測定物各部の高さ分布に応じて変形した格子像から3次元形状を測定するモアレ法やヘテロダイン法が知られている。モアレ法では変形格子像に基準格子を重ねることにより被測定物の

高さ分布の等高線を与えるモアレ縞を発生させて高さ分布を求めている。ヘテロダイン法では基準格子を無変調の空間的キャリア周波数信号と考え、変形格子像を空間的に位相変調されたキャリア信号とみなして変形量を位相として検出することにより被測定物の高さ分布を求めている。

【0003】

これらの測定方法は、面の形状が滑らかで各部が相互に連続に接続された被測定物に対しては有効であるが、大きな不連続段差をもつ被測定物や各部が相互に接続点をもたない孤立した面から構成されるような被測定物の形状を測ることができない。モアレ法の場合は、不連続な等高縞の縞次数を一意に決定できないためであり、また、ヘテロダイン法の場合は、 $(-\pi, \pi]$ の主値の範囲に折り畳まれて検出される位相分布から不連続物体の高さ分布を一意に決定することができないためである。

【0004】

このような不連続段差をもつ被測定物を測定するため、特開平10-246612号公報にあるように、周期と向きとが互いに異なる複数の1次元格子を重畳させた2次元格子パターンを被測定物に投影し、被測定物の3次元形状に応じて変形した2次元格子像を撮像し、2次元格子像から各1次元格子成分毎に位相を検出し、各位相に基づいて3次元形状の測定値を得る方法が提案されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、こうした従来の方法では、周期と向きが異なる1次元格子の個数が多くなるほど、格子像での1次元格子の交差する部分が多くなり、2次元格子像を撮像後の周波数の分離が難しくなり、他の1次元格子がノイズ源となり、精度よく測定できないという問題があった。

【0006】

本発明の課題は、測定精度の向上を図った3次元形状測定方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

かかる課題を達成すべく、本発明は課題を解決するため次の手段を取った。即ち、

3次元形状の被測定物に格子パターンを投影し、この格子像から前記被測定物の3次元形状の測定値を得る3次元形状測定方法において、

周期と向きとが互いに異なる複数の1次元格子毎に色を変えて前記被測定物に前記格子パターンを同時に投影し、前記被測定物の3次元形状に応じて変形した格子像を撮像し、該格子像から前記各色毎の前記1次元格子成分に分離し、前記各1次元格子成分毎に位相を検出して、該各位相に基づいて前記測定値を得ることを特徴とする3次元形状測定方法がそれである。

【0008】

前記1次元格子の色が、赤、緑、青であってもよい。また、前記格子パターンを投影する光源の投影レンズと前記格子パターンを撮像するイメージセンサの結像レンズとの中心を結ぶ直線が、前記被測定物を置いた参照平面と平行であることが好ましい。更に、白色光により前記被測定物を撮像して、前記被測定物の色情報をも計測するようにしてもよい。

【0009】

【発明の実施の形態】

以下本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

図1(a)に示すように、1は、本実施形態に用いられる赤色の1次元格子1である。この赤色の1次元格子1は、縦方向の赤色の条線の周期的繰り返し（周期＝ d_1 ）により形成されている。また、図1(b)に示すように、2は、本実施形態に用いられる緑色の1次元格子2である。この緑色の1次元格子2は、斜め方向の緑色の条線の周期的繰り返し（周期＝ d_2 ）により形成されている。

【0010】

更に、図1(c)に示すように、3は、本実施形態に用いられる青色の1次元格子3である。この青色の1次元格子3は、前述した緑色の条線よりも傾斜角度の大きな斜め方向の青色の条線の周期的繰り返し（周期＝ d_3 ）により形成されている。

【0011】

尚、条線に限らず、ドットにより形成してもよく、また、1次元格子1～3としては不要な高調波成分を含まない正弦波格子が理想的であるが、信号処理の段階で不要な高調波成分を除去することにより、製作の容易な矩形格子を用いることもできる。

【0012】

後述する投影レンズ5と結像レンズ9との中心を結ぶ直線方向の各1次元格子1～3の各周期 d_1 、 d_2 、 d_3 は、物体の高さを位相値に変換する計測感度に対応するので、これらは異なる値になるようにする。例えば、異なる位相感度の複数の計測データを統合して高さ分布を求める方法として合同法を用いる場合には、 $d_1 : d_2 : d_3$ を3 : 5 : 7等の素数比とするのが好ましい。

【0013】

この各1次元格子1～3は、図2に示すように、それぞれの白色光源4a～4cでレンズ10～12を介して照明するように構成されている。本実施形態では、赤色の1次元格子1が、投影レンズ5の光軸と同軸上に配置され、白色光源4aで赤色の1次元格子1を照明し、投影レンズ5により参照平面8上に赤色の1次元格子1の像を投影する。

【0014】

また、緑色の1次元格子2は、投影レンズ5の光軸と平行に配置され、白色光源4bで緑色の1次元格子2を照明し、プリズム機構16を介して、投影レンズ5により参照平面8上に緑色の1次元格子2の像を投影する。更に、緑色の1次元格子2と光軸を挟んで対向して青色の1次元格子3が配置されており、白色光源4cで青色の1次元格子3を照明し、プリズム機構16を介して、投影レンズ5により参照平面82上に青色の1次元格子3の像を投影する。

【0015】

本実施形態における図3に示す3個の被測定物6a、6b、7は、相互に接点を持たない孤立した面からなる物体である。この3個の被測定物6a、6b、7は、参照平面8上に置かれており、参照平面8は高さ計測の基準面を与える。結像レンズ9は被測定物6a、6b、7及び参照平面8上の格子パターンを格子像20としてイメージセンサ21上に結像する。本実施形態では、イメージセン

サ 21 に、3 板式 CCD カメラを用いており、イメージセンサ 21 からの画像データは画像処理回路 22 に入力される。投影レンズ 5 と結像レンズ 9 の投影中心を結ぶ直線を参照平面 8 に平行にして参照平面 8 が高さ計測の基準面となるようにする。

【0016】

更に、結像レンズ 9 の光軸は参照平面 8 に垂直であり、投影レンズ 5 と結像レンズ 9 の投影中心を結ぶ直線が水平方向になるように配置する。こうすることにより、被測定物 6 a, 6 b, 7 の高さを位相値に変換する計測感度比が各 1 次元格子 1 ~ 3 の水平方向の周期比 $d_1 : d_2 : d_3$ により決定され、縦方向の周期比には依存しなくなるので 1 次元格子 1 ~ 3 を重畳し多重化する際の条線の傾き角の選択の自由度が生じる。この条線の傾き角の選択の自由度を利用して、各 1 次元格子 1 ~ 3 の空間周波数スペクトル成分が互いに分離するように条線方向を選び、空間周波数フィルタによるスペクトルの選択的な抽出ができるようにする。

【0017】

図 3 に示すように、本実施形態における一方の被測定物 6 a は高さ 20 mm の円柱体であり、他方の被測定物 6 b は高さが 30 mm の直方体である。これらは、縁に沿って大きな不連続段差をもち、両者は相互に接点をもたない孤立した面から構成されている。他の一つの被測定物 7 は、頂上の高さが 25 mm の山型の連続な高さ分布の円錐体である。

【0018】

この両被測定物 6 a, 6 b, 7 に、図 2 に示すように、各白色光源 4 a ~ 4 c により各 1 次元格子 1 ~ 3 の格子パターンを同時に投影する。そして、この格子像 20 をイメージセンサ 21 により撮像する。格子像 20 は、図 4 に示すように、被測定物 6 a, 6 b, 7 の 3 次元形状に応じて変形しており、水平方向の周期比が $d_1 : d_2 : d_3 = 3 : 5 : 7$ で、縦方向の条線と斜め方向の条線からなる 3 つの 1 次元格子 1 ~ 3 が多重に重畳されている。

【0019】

被測定物の高さ $h(x, y)$ により位相変調された格子像パターン $g(x, y)$ は下記

(1) 式で表される。ここで f_{Xk} , f_{Yk} は空間周波数、 $r(x, y)$ は被測定物表面の反射率である。

【0020】

【数1】

【数1】

$g(x, y) =$

$$r(x, y) \sum_{K=1}^K \{ 1 + \cos [2\pi (f_{Xk}x + f_{Yk}y) + \phi_k(x, y)] \}$$

... (1)

$$\phi_k = 2\pi \tan \theta f_{Xk} h(x, y)$$

【0021】

フーリエ変換法の空間周波数フィルタリングにより $\phi_k(x, y)$ を分離して個別に取り出すことができるが、得られる各々の $h_k(x, y)$ は Δh_k (下記(2)式)の主値に折り畳まれているのでこれらのデータはそれぞれ Δh_k を法とする合同系を作っている。x方向の周期比を互いに素で最も簡単な整数 m_k に対してそれぞれ下記(3)式となるように選んでおくと、下記(4)、(5)式は m_k ($= \Delta h_k / \alpha$) を法とする連立合同系(下記(6)式)を作り上げるので、結局被測定物の高さ $h(x, y)$ はこの連立合同方程式の解法に帰着される。

【0022】

【数 2】

【数 2】

$$\Delta h_k = 1 / (f_{xk} \tan \theta) \dots (2)$$

$$\frac{(1 / f_{xk})}{m_k} = \alpha \tan \theta \text{ (一定) } (k=1, 2, \dots, K) \dots (3)$$

$$\hat{X} = h(x, y) / \alpha \dots (4)$$

$$\hat{b}_k = h_k(x, y) / \alpha \quad (k=1, 2, \dots, K) \dots (5)$$

$$\hat{X} \equiv \hat{b}_k \pmod{m_k} \quad (k=1, 2, \dots, K) \dots (6)$$

【0023】

イメージセンサ 21 からの格子像パターンは、画像処理回路 22 に入力されて、図 7 に示す処理が行われる。画像処理回路 22 では、まず、この重畳された格子像 20 から各色毎に格子像を分離する（ステップ 100）。そして各色毎に分離した格子像に応じた画像データを 2 次元フーリエ変換して、空間周波数スペクトルの強度分布を得る（ステップ 110）。

【0024】

図 5 はこの 2 次元フーリエ変換することにより得られた空間周波数スペクトルの強度分布の斜視図である。赤色の 1 次元格子 1 の空間周波数スペクトル 13、13' と、緑色の 1 次元格子 2 の空間周波数スペクトル 14、14' と、青色の 1 次元格子 3 の空間周波数スペクトル 15、15' は、2 次元空間周波数領域でこのように分離されるので、各 1 次元格子 1～3 の空間周波数に対応したスペクトル成分を空間周波数フィルタにより選択的に抽出する（ステップ 120）。

【 0 0 2 5 】

次に、選択抽出した空間周波数スペクトルの2次元フーリエ逆変換を行い（ステップ130）、位相をヘテロダイン検出する（ステップ140）。本実施形態では3つの1次元格子1～3を多重化したが、図5のスペクトル分布から明らかのように、さらに多くの色の1次元格子を多重化してスペクトルを分離することもできる。

【 0 0 2 6 】

ステップ100～140の処理を繰り返し実行して、全ての多重化スペクトルに対して位相の検出を行い（ステップ150）、全ての多重化スペクトルに対して位相を得た後は、既存の方法により高さ分布を求める（ステップ160）。異なる位相感度の複数の計測データを統合して高さ分布を求める方法としては、多波長干渉計測における合同法や合致法等の既存の方法を用いることができる。

【 0 0 2 7 】

ヘテロダイン検出された位相は $(-\pi, \pi]$ の主値の範囲に折り畳まれているが、被測定物6a, 6b, 7の高さを位相値に変換する計測感度が各1次元格子1～3の水平方向の周期に応じて3:5:7と異なるために、図6(a)～(c)に示すように、各周波数スペクトル毎に異なる高さ範囲に折り畳まれた3次元形状分布が得られる。

【 0 0 2 8 】

図6(a)の3次元形状分布25は条線が縦方向である赤色の1次元格子1のスペクトル成分13をフィルタで取り出しヘテロダイン検出して得られた高さ分布であり、高さが3mmの範囲に折り畳まれている。一方、図6(b)の3次元形状分布26は条線が斜め方向である緑色の1次元格子2のスペクトル成分14をフィルタで取り出しヘテロダイン検出して得られた高さ分布であり、高さが5mmの範囲に折り畳まれている。

【 0 0 2 9 】

更に、図6(c)の3次元形状分布27は条線が斜め方向である青色の1次元格子3のスペクトル成分15をフィルタで取り出しヘテロダイン検出して得られた高さ分布であり、高さが7mmの範囲に折り畳まれている。このように、図1

に示した各色毎の1次元格子1～3の格子像から同時に3つの異なる感度の計測データを取得することができる。多重化度を高めればさらに多くの異なる感度の計測データを得ることができる。

【0030】

本発明による空間周波数多重化を行わない従来のヘテロダイン法では、図6 (a)～(c)の折り畳まれた高さ分布25～27のいずれか一つのみが得られることになる。図3の被測定物6a, 6bのように、縁に沿って大きな不連続段差をもち、相互に接続点をもたない孤立した面から構成されている物体の場合は、各高さ分布25～27の折り畳まれた高さ分布のいずれか1つだけからは、その3次元形状を一意に決定することができない。したがって、本発明の方法により、各色の1次元格子像20から同時に複数の異なる感度の計測データを取得することが不可欠である。

【0031】

3:5:7の高さ感度比で折り畳まれた図6 (a)～(c)の3つの高さ分布25～27のデータを統合して3次元形状を求める方法として、多波長干渉計測の分野でよく知られた合同法を用いると図3に示す被測定物6a, 6b, 7の3次元形状分布を正しく求めることができる。

【0032】

また、空間周波数多重化格子像20を2次元フーリエ変換しフィルタリングして、所望のスペクトル成分を選択的に抽出するのと全く等価な処理を格子像に対する直接演算により実現することもできる。即ち、図8に示すように、まず、この重畳された格子像20から各色毎に格子像を分離する(ステップ100)。そして、所望のスペクトルを選択的に抽出するのに用いた2次元フィルタ窓関数を逆フーリエ変換して2次元インパルス応答関数を得て(ステップ200)、それを空間周波数多重化格子像に直接2次元コンボリューション演算することによっても各1次元格子1～3の空間周波数に対応したスペクトル成分を選択的に抽出することができる(ステップ210)。尚、以下の処理(ステップ130～150)は、前述した処理と同じであるので、説明を省略する。

【0033】

本発明は、被測定物 6 a, 6 b, 7 の 3 次元形状に応じて変形した空間周波数多重化格子像 2 0 を画像処理回路 2 2 に取り込み、各色毎に格子像を分離してから、各 1 次元格子 1 ~ 3 の空間周波数に対応したスペクトル成分を空間周波数フィルタにより選択的に抽出し、その位相を個別にヘテロダイン検出する。

【 0 0 3 4 】

この空間周波数フィルタリングは、変形格子像を 2 次元フーリエ変換した周波数スペクトル領域で行うか、あるいは、それと同等な 2 次元コンボリューション演算を 2 次元格子像に対して直接実行する。ヘテロダイン検出されたこれらの位相は $(-\pi, \pi]$ の主値の範囲に折り畳まれているが、被測定物 6 a, 6 b, 7 の高さを位相値に変換する計測感度が各 1 次元格子 1 ~ 3 の空間周波数に応じて異なるために、各周波数スペクトル毎に異なる高さ範囲に折り畳まれた 3 次元形状分布が得られる。

【 0 0 3 5 】

このため、それぞれの 1 次元格子 1 ~ 3 のスペクトル成分から得られる複数の計測データを統合することにより、不連続段差や孤立した物体面の有無に関わらず、各単独の計測点ごとにその高さを個別に決定することができる。また、1 回の格子パターン投影で瞬時計測することができるため、高速運動中や高速変形中の不連続物体の瞬時形状の計測を可能にする。

【 0 0 3 6 】

しかも、赤、緑、青毎の各色に格子像を分離するので、この格子像には各色毎の格子像が交差する部分がなく、他の 1 次元格子 1 ~ 3 の格子像によるノイズを低減できるので、精度のよい測定ができる。また、図 2 に示すように、イメージセンサ 2 1 と同軸上に、リング状の白色光源 3 1 を設け、この白色光源 3 1 から白色光を被測定物 6 a, 6 b, 7 に投光して、イメージセンサ 2 1 により被測定物 6 a, 6 b, 7 のカラー画像を撮る。このカラー画像からピクセル毎の色情報を得る。これにより、3 次元形状の測定データと色情報とを得ることができる。

【 0 0 3 7 】

以上本発明はこの様な実施形態に何等限定されるものではなく、本発明の要旨

を逸脱しない範囲において種々なる態様で実施し得る。

【0038】

【発明の効果】

以上詳述したように本発明の3次元形状測定方法は、大きな不連続段差をもつ被測定物や各部が相互に接続点をもたない孤立した面から構成されるような被測定物の3次元形状を、1回の格子パターン投影で瞬時計測することができるため、従来法で困難であった高速運動中や高速変形中の不連続物体の瞬時形状の計測を可能にする。しかも、各色に格子像を分離するので、格子像には各色毎の格子像が交差する部分がなく、他の1次元格子の格子像によるノイズを低減できるので、精度のよい測定ができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態としての3次元形状測定方法に用いる1次元格子の拡大説明図である。

【図2】本実施形態の3次元形状測定方法を用いた装置の概略構成図である。

【図3】本実施形態の被測定物の斜視図である。

【図4】本実施形態の2次元格子像の説明図である。

【図5】本実施形態の被測定物の空間周波数スペクトルの強度分布を示す斜視図である。

【図6】本実施形態の異なる感度で折り畳まれた高さ分布の斜視図である。

【図7】本実施形態の画像処理回路で行われるフーリエ変換処理の一例を示すフローチャートである。

【図8】本実施形態の画像処理回路で行われるコンボリューション処理の一例を示すフローチャートである。

【符号の説明】

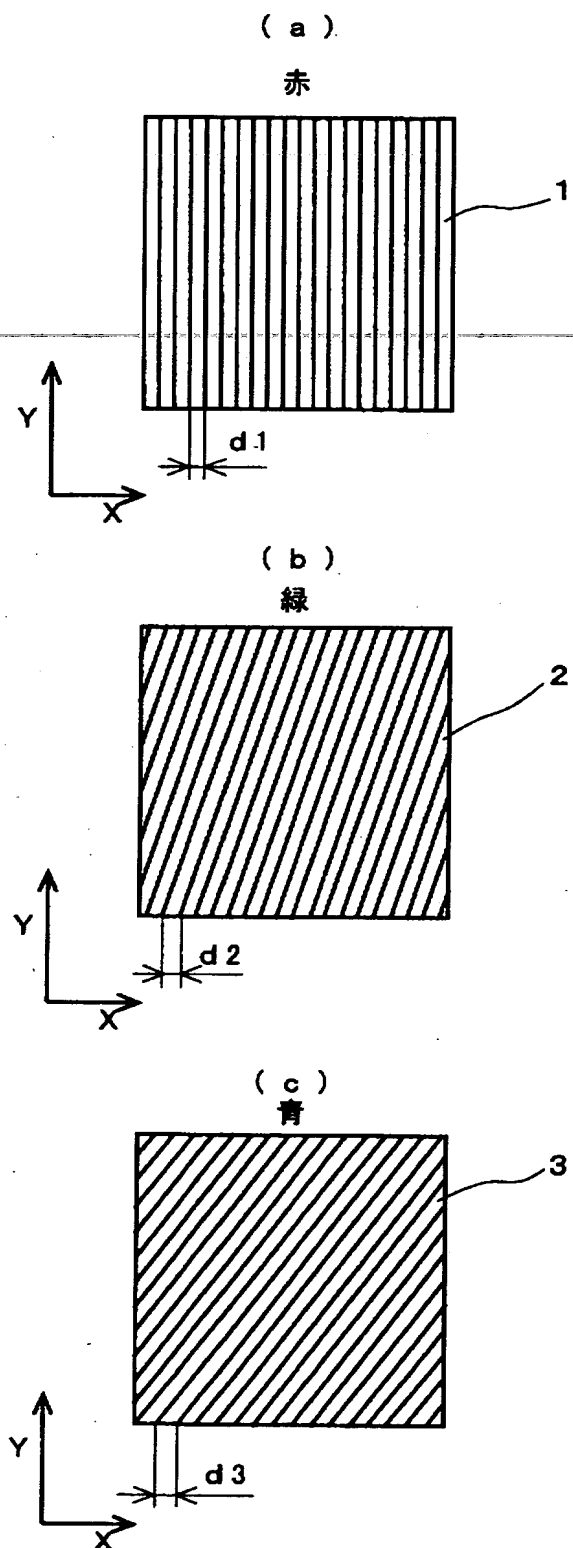
1～3…1次元格子	4a～4c, 31…白色光源
5…投影レンズ	6a, 6b, 7…被測定物
8…参照平面	9…結像レンズ
16…プリズム機構	20…格子像
21…イメージセンサ	22…画像処理回路

特2001-122723

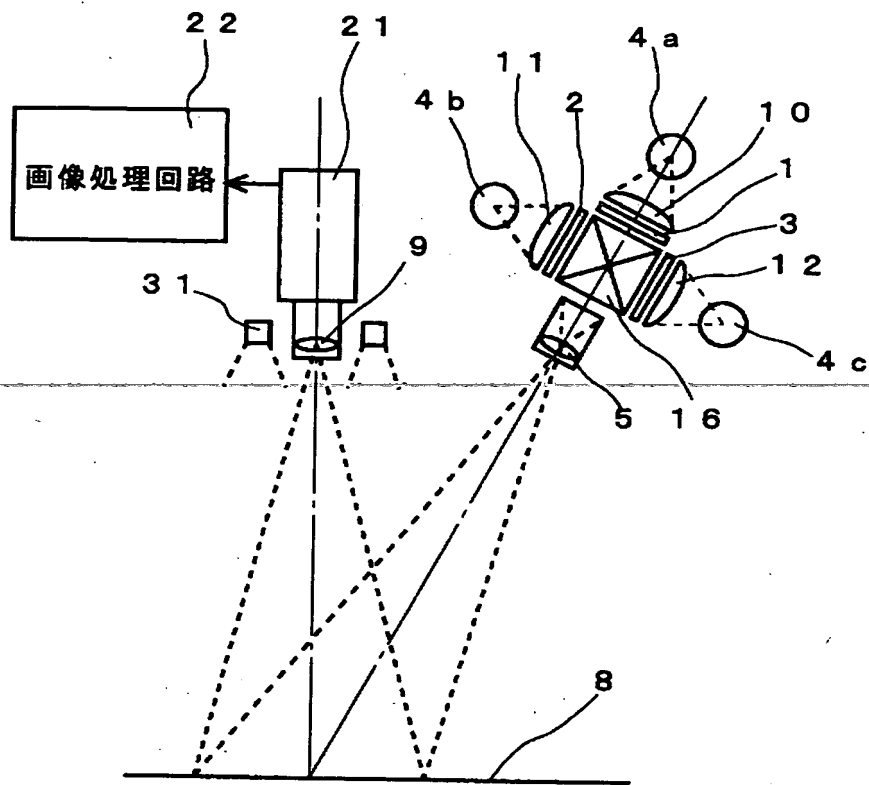
【書類名】

図面

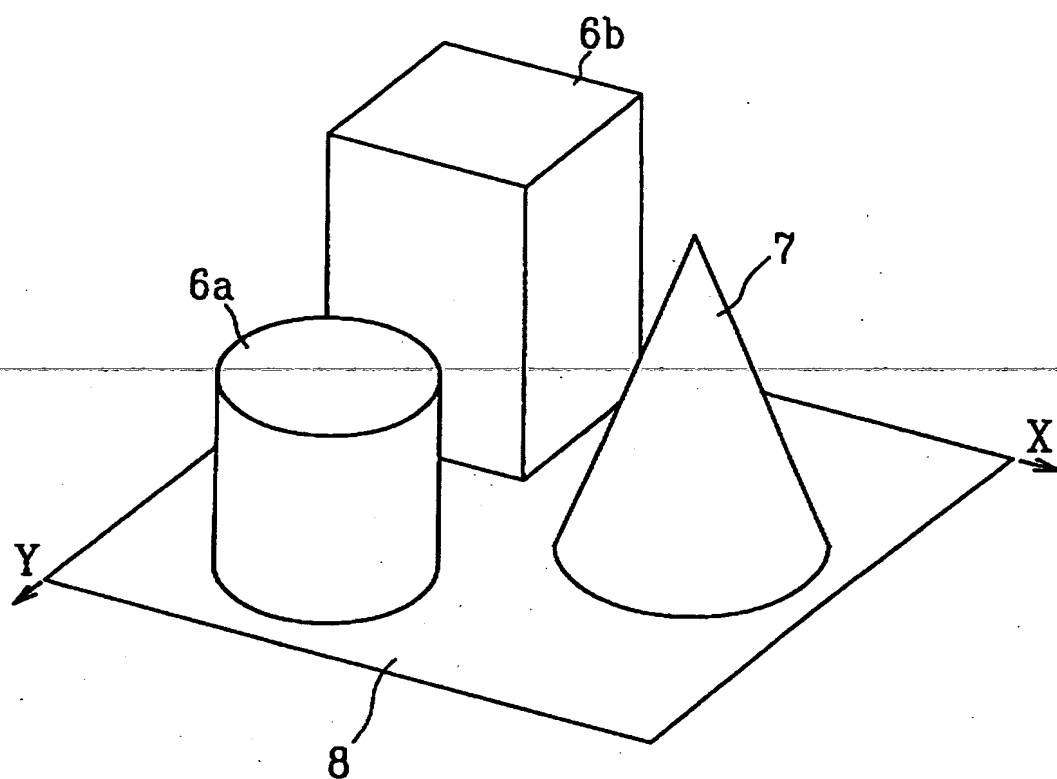
【図 1】



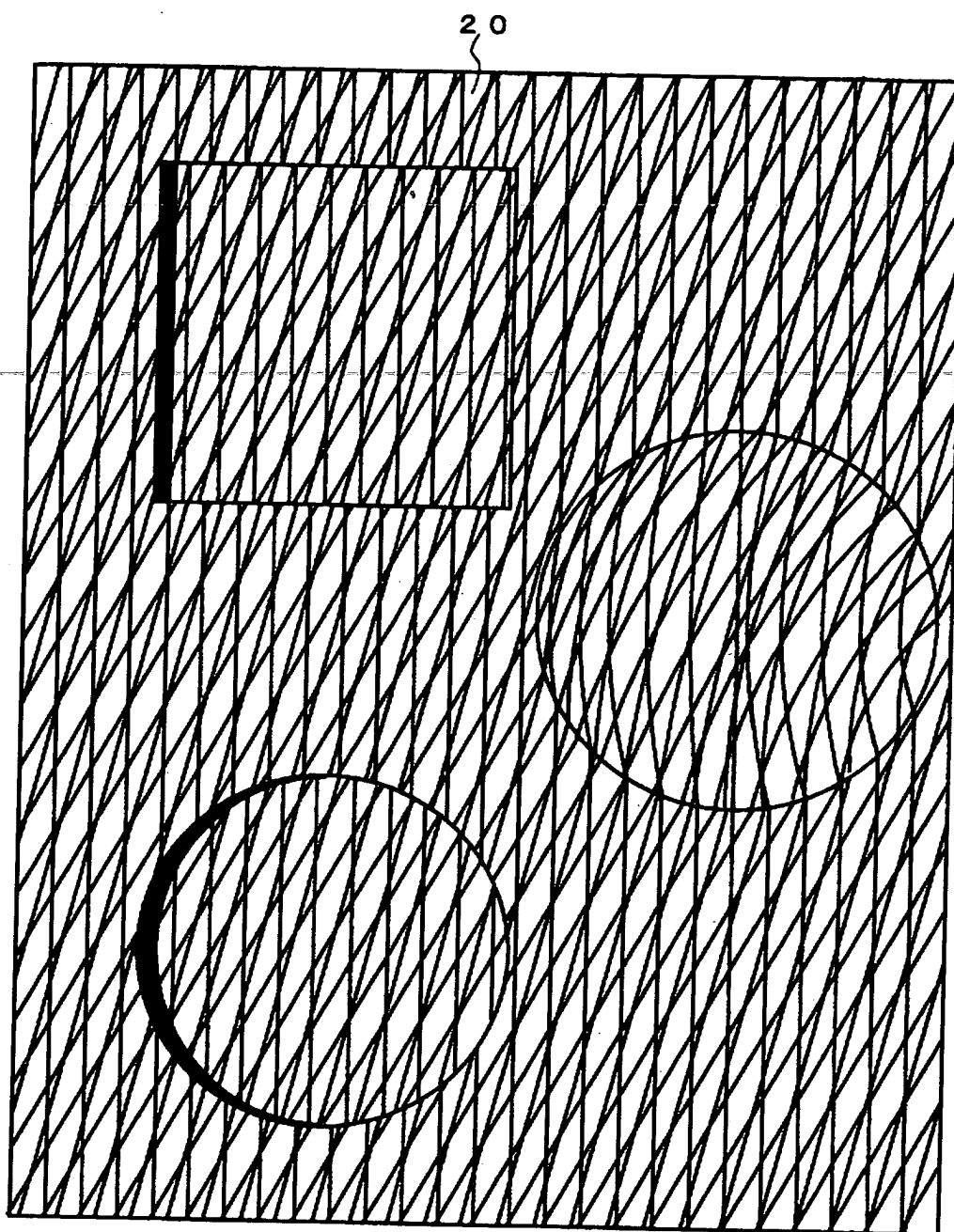
【图 2】



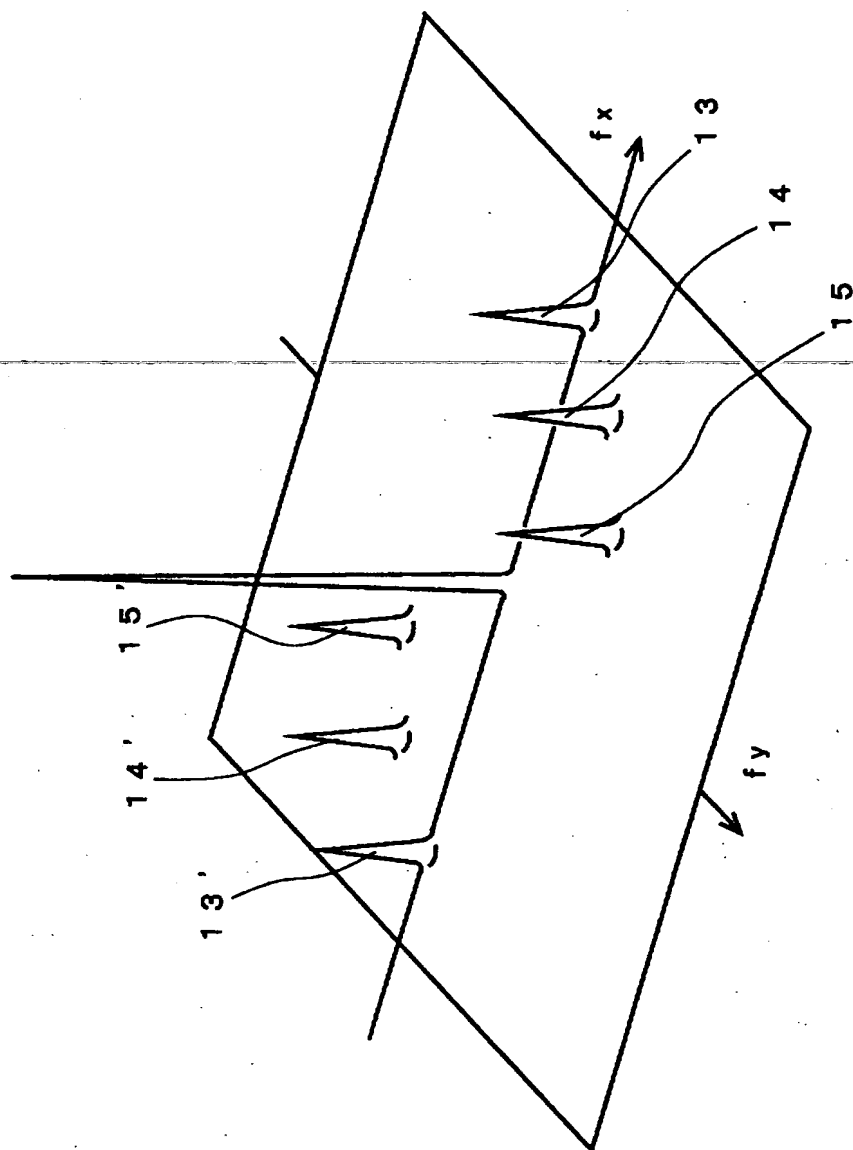
【図 3】



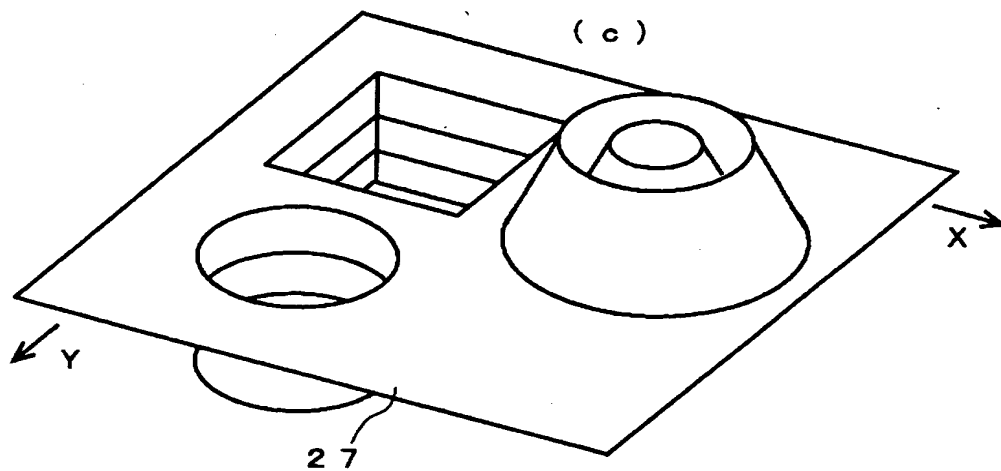
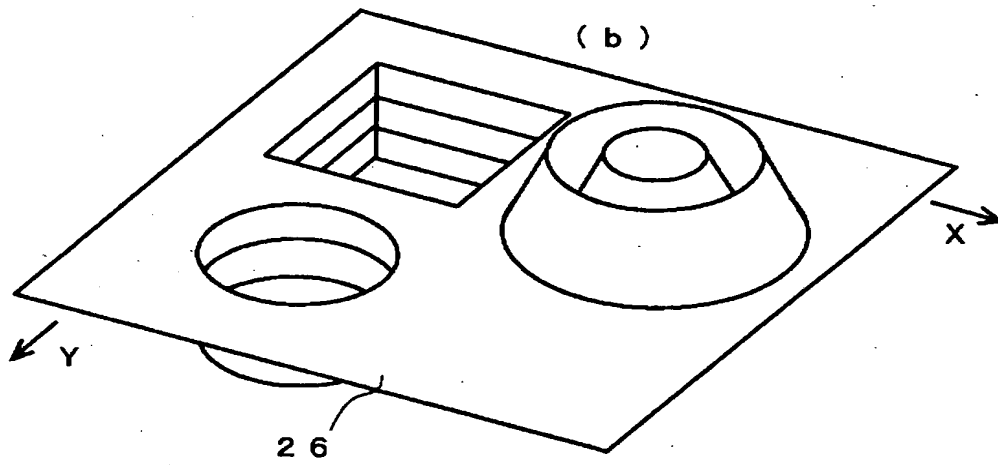
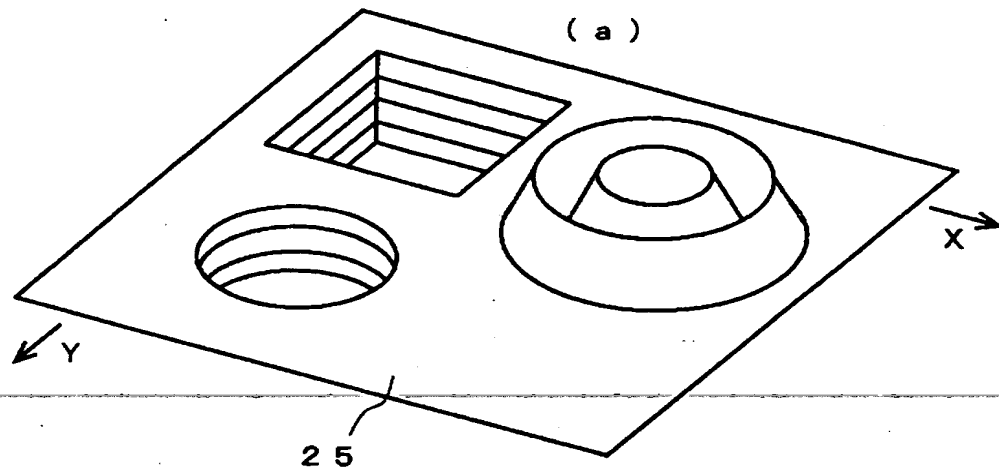
【図4】



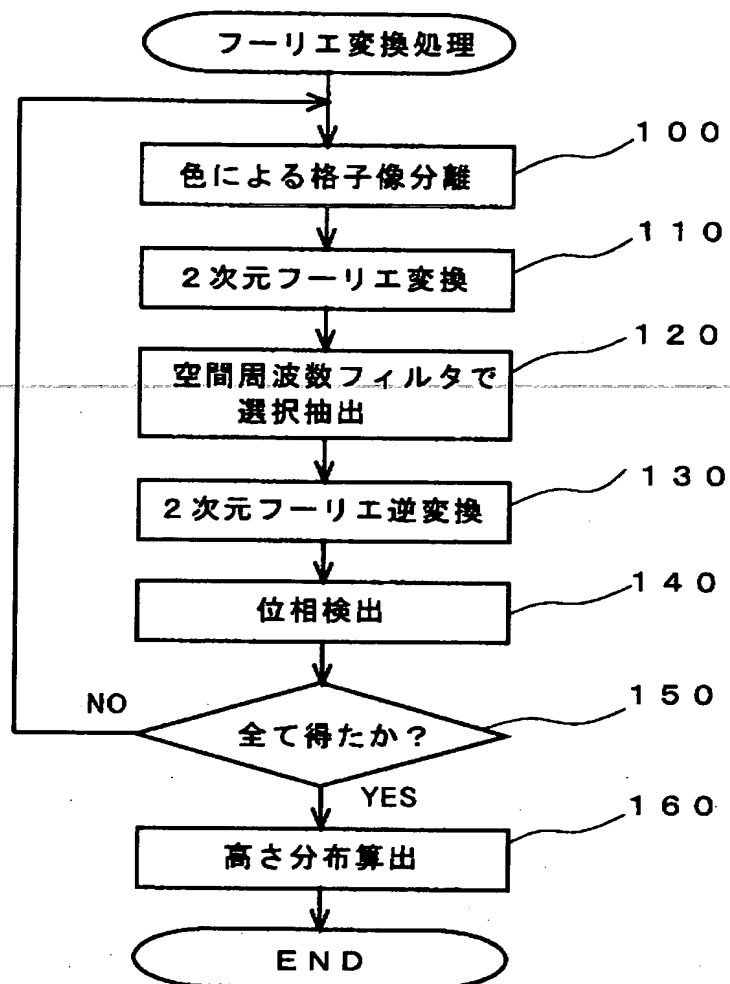
【図5】



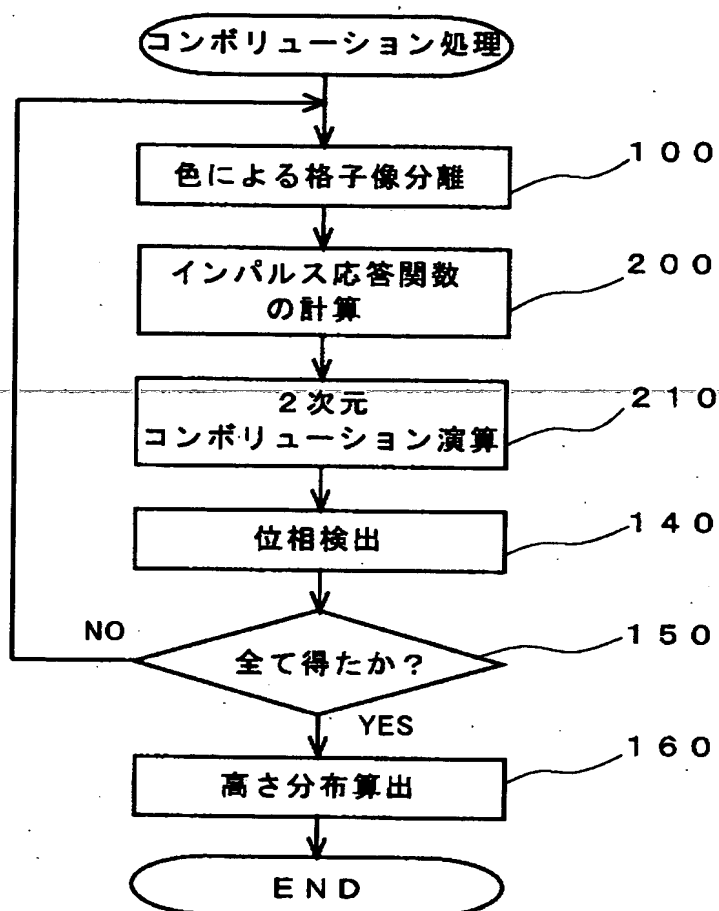
【図6】



【図 7】



【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 測定精度の向上を図った 3 次元形状測定方法を得る。

【解決手段】 周期と向きとが互いに異なる複数の 1 次元格子 1 ～ 3 毎に色を変えて被測定物に格子パターンを同時に投影する。そして、被測定物の 3 次元形状に応じて変形した格子像を撮像し、格子像から各色毎の 1 次元格子成分に分離し、各 1 次元格子成分毎に位相を検出して、各位相に基づいて 3 次元形状の測定値を得る。また、白色光により被測定物を撮像して、被測定物の色情報をも計測する

【選択図】 図 2

特2001-122723

出願人履歴情報

識別番号

[394017929]

1. 変更年月日

1994年 7月25日

[変更理由]

新規登録

住所

愛知県名古屋市守山区四軒家2-601

氏名

與語 照明